

اندازه‌گیری و مدل‌سازی آلومتری ترسیب کربن تنه تجاری درختان در جنگل آمیخته راش

شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky)

علی‌اصغر واحدی

تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، گروه جنگلداری

تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۴



چکیده

با توجه به سناریوی تغییرات اقلیم و افزایش کربن اتمسفری در عصر کنونی، مطالعه حاضر با مدل‌سازی آلومتریک در جنگل‌های مورد مطالعه بدنبال برآورد سهم واقعی ذخایر کربن آلی زی‌توده درختان در مقیاس وسیعی از جنگل‌های مذکور می‌باشد. برای تحقق این امر، از تنه ۱۷۴ اصله درختان گونه‌های مختلف جنگل آمیخته راش سری ۳ گلندرود نور با استفاده از روش طبقه‌ای تصادفی پس از قطع و تبدیل، یک نمونه دیسک به ضخامت ۲ سانتی‌متر به ازای ۵-۲ متر از طول تنه برداشت شد. از دو طرف هر یک از دیسک‌ها قطعاتی با حجم ثابت تکه برداری شده و پس از توزین بمدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند تا چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی اندازه‌گیری شوند. نتایج تحقیق نشان داد که چگالی ویژه تنه درختان گونه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار بوده ولی تغییرات ضریب کربن معنی‌دار نبود. در رابطه با فرآیند مدل‌سازی، تابع توانی بعنوان مدل پایه آلومتریک بر حسب قطر برابر سینه تقریباً با میانگین انحراف معیار ۳۰ درصد، ۸۴ درصد از تغییرات واریانس را بخود اختصاص داد. نتایج نشان داد که مدل نمایی بازتبدیل بر حسب لگاریتم خطی چندگانه بترتیب شامل عامل ترکیب مربع قطر برابر سینه در ارتفاع تنه و متغیر چگالی ویژه ($AIC = -516$, $CF = 1/02$, $SEE = 0/22$, $Adj.R^2 = 0/94$) بعنوان مدل بهینه نهایی برای برآورد ترسیب کربن تنه تجاری درختان جنگل‌های مورد مطالعه در سطح وسیع می‌تواند استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، معادلات آلومتریک، متغیرهای زیست‌فیزیکی، جنگل آمیخته راش

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۶۵۶۴۶۵۴۸، پست الکترونیکی: ali.vahedi60@gmail.com

مقدمه

هزینه تنفس در جنگل و یا بعبارتی عدم بهره‌برداری تجاری و صنعتی در جنگل چگونه باید جبران شود؟ از این‌رو کلیه ارزش‌های زیست‌محیطی و اکولوژیکی جنگل می‌توانند بعنوان بهترین معرف و جایگزین در این خصوص مدنظر قرار داده شوند. در این میان، جذب کربن اتمسفری و حبس آن در اندام‌های مختلف درختان تحت عنوان حوضچه‌های اصلی کربن یا همان میزان کربن ترسیب شده در جنگل را می‌توان نامبرد که بعنوان مهمترین خدمات اکولوژیکی جنگل در رابطه با تغییرات آب و هوایی شناخته می‌شوند (۱۱ و ۱۷). با توجه به اینکه

هیات وزیران بنا به پیشنهاد وزارت جهاد کشاورزی و به استناد تبصره ماده ۱۴۸ قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، بهینه‌سازی، پایش، حفظ، بهره‌برداری و مدیریت جنگل‌های شمال کشور را در ۱۶ دی‌ماه سال ۱۳۹۲ به تصویب رساند. مطابق بند ۶ این مصوبه بهره‌برداری و خروج چوبهای صنعتی از جنگل‌های شمال کشور باید متوقف شود. ولی بر اساس اطلاعات موجود در کلیه گزارش‌ها و مستندات موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط به سازمان‌های اجرایی و دستگاه‌های متولی هنوز در مورد اجرای این بند چالش‌های مختلفی وجود دارد. اینکه

جنگل‌های جلگه‌ای استوایی، Alvarez و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص مدل‌سازی آلومتریک ترسیب کربن روی زمینی جنگل‌های طبیعی کلمبیا، Beets و همکاران (۲۰۱۲) در ارتباط با استفاده از معادلات آلومتریک برای تخمین موجودی کربن در جنگل‌های طبیعی زلانندو، Ekoungoulou و همکاران (۲۰۱۴) در رابطه با تبیین معادله آلومتریک ترسیب کربن روی زمینی درختان در جنگل‌های استوایی کنگو اشاره کرد. در تمام این مطالعات، با استفاده از اندازه‌گیری زی‌توده تنه و یا زی‌توده روی زمینی (تنه + تاج) درختان با استفاده از روش‌های تخریبی مدل‌سازی زی‌توده و ترسیب کربن با حداکثر دقت بصورت جامع (با قابلیت قیاس با مشاهدات و نتایج سایر پژوهش‌ها) ارائه شدند. البته باید در نظر داشت که در مجموع تقریباً ۸۰ درصد از زی‌توده روی زمینی درختان در اکوسیستم‌های جنگلی معطوف به تنه می‌باشد (۷، ۲۰ و ۳۱). همچنین با استناد به اینکه بیش از ۵۰ درصد از حجم چوب‌های صنعتی مربوط به تنه تجاری درختان می‌باشد (۶) و تاکنون نیز بیشترین تمرکز بهره‌برداری صنعتی و خروج چوب در جنگل‌های شمال کشور نیز بر اساس مقادیر کمی و کیفی تنه تجاری درختان صورت گرفته است، از این‌رو در تحقیق حاضر مقادیر وزنی ترسیب کربن تنه تجاری درختان گونه‌های مختلف در جنگل‌های آمیخته راش واقع در گلندرود استان مازندران اندازه‌گیری و در قالب معادلات آلومتریک مدل‌سازی شد. در واقع، هدف نهایی در پژوهش حاضر اینست که با توجه به ارائه معادلات آلومتریک بهینه با حداکثر دقت پاسخگویی بتوان برآورد صحیحی از ذخایر کربن آلی در جنگل‌های آمیخته راش در منطقه مورد مطالعه داشت تا با استفاده از همین معادلات بتوان علاوه بر مقایسه توان ترسیب کربن سایر رویشگاه‌های آمیخته راش با منطقه مورد مطالعه، این استنباط را حاصل کرد که برداشت یا عدم برداشت درختان تجاری به چه میزان بر پویایی و جذب CO₂ اتمسفر تاثیرگذار است.

سناریوی تغییرات اقلیم و گرمایش زمین یکی از مهمترین و برجسته‌ترین معضلات زیست محیطی عصر حاضر محسوب می‌شود، از این‌رو کاهش انتشار کربن اتمسفری و ترسیب هر چه بیشتر کربن در اکوسیستم‌های جنگلی یکی از مهمترین و بهترین راه‌حلهای رفع این مشکل جهانی محسوب می‌شود (۲۶). بنابراین داشتن اطلاعات در مورد پویایی و میزان واقعی ترسیب کربن در اکوسیستم‌های خشکی (غیر آبی) زمین بخصوص در پوشش‌های جنگلی و میزان توزیع و الگوی مکانی آن در جنگل‌های زیست-بومهای مختلف می‌تواند یکی از مهمترین منابع برای اکولوژیست‌ها بمنظور مدیریت، برنامه‌ریزی و مهار بحران زیست محیطی مذکور محسوب شود (۱۳ و ۲۴). یکی از مهمترین مشکلات و خلا اساسی در این خصوص، نحوه اندازه‌گیری و برآورد با حداکثر قطعیت مقادیر کربن ترسیب شده درختان در جنگل‌های طبیعی می‌باشد (۱۷ و ۲۲). بسیاری از پژوهش‌های مربوط در این زمینه نشان داده‌اند که اندازه‌گیری مقادیر ترسیب کربن درختان بخصوص در جنگل‌های طبیعی و آمیخته علاوه بر اجرای روش‌های تخریبی و قطع، بسیار سخت و هزینه بر بوده و در بسیاری از موارد بدلیل محدودیت‌های مدیریتی ناممکن می‌باشد (۷، ۲۰، ۲۲ و ۲۵). بنابراین مدل‌سازی و توسعه معادلات آلومتریک با ترکیب بهینه و دقت پاسخگویی زیاد در سطح کلان به ویژه برای درختان اکوسیستم‌های جنگلی مورد پیشنهاد قرار می‌گیرد تا بتوان از این طریق برآوردی نزدیک به واقعیت در رابطه با مقادیر مختلف کربن ترسیب شده و یا میزان انتشار آن داشت (۱۱، ۱۶ و ۱۷).

در داخل کشور در رابطه با مدل‌سازی معادلات آلومتریک در توده‌های آمیخته حاوی گونه‌های مختلف درختی در جنگل‌های طبیعی بصورت مستند مطالعه‌ای مشاهده نمی‌شود ولی در پژوهش‌های خارجی می‌توان به مطالعات Basuki و همکاران (۲۰۰۹) در مورد تبیین مدل‌های آلومتریک زی‌توده تنه تجاری درختان اراضی جلگه‌ای

مواد و روشها

منطقه تحقیق: این مطالعه در سری ۳ جنگل‌های گلندرود نور واقع در حوزه آبخیز ۴۸ جنگل‌های شمال ایران انجام شد. این سری از نظر تقسیمات اداری در حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی استان مازندران - نوشهر واقع می‌شود. مساحت کل سری ۱۵۲۱ هکتار است و محدوده آن در بین عرض جغرافیایی ۳۰° ۲۷' ۳۶" ، ۱۵° ۳۲' ۳۶" و طول جغرافیایی ۲۵° ۵۳' ۵۱" ، ۲۵° ۵۷' ۵۱" قرار دارد. محدوده ارتفاع از سطح دریا در این سری بین ۹۴۰ تا ۱۵۲۰ متر می‌باشد. سری مورد مطالعه معروف به سری سرگلند بعنوان جنگل آمیخته راش محسوب می‌شود و درختان راش بصورت آمیخته با بلوط ، ممرز ، پلت، افراشیدار، نمدار، آزاد و غیره پراکنش دارد. جهت عمومی در کل سری عموماً غربی بوده و حداکثر شیب منطقه در برخی نقاط تا ۸۰٪ نیز می‌رسد. همچنین سنگ مادری در پارسل‌های مورد نظر آهکی- مارنی بوده و تیپ خاک نیز قهوه ای جنگلی تا راندرین می‌باشد (۱). با توجه به داده‌های دریافتی مربوط به ایستگاه هواشناسی نوشهر میانگین حداکثر و حداقل دما بترتیب در اواسط مرداد ماه بمیزان ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد و در ماه بهمن بمیزان ۳/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۹۳/۵ میلی‌متر می‌باشد که میانگین حداقل و حداکثر بارندگی بترتیب در مردادماه و آبان‌ماه گزارش شده است.

روش پژوهش: در پژوهش حاضر، به تعداد ۱۷۴ پایه از درختان منتخب با استفاده از روش طبقه‌ای تصادفی (Stratified random sampling) برای بهره‌برداری و قطع توسط سازمان متولی این امر انتخاب شدند. در سال ۱۳۹۳ برای تکمیل و تطبیق کلیه داده‌های دریافتی برای هر یک از درختان نشانه‌گذاری شده از اطلاعات موجود در آرشیو اسناد دستگاه‌های اجرایی استفاده شد. با توجه به توزیع قطری درختان در توده‌های نشانه‌گذاری شده، کلاسه‌های قطری ۶۰-، ۳۰-، ۸۰-، ۶۰ و بیش از ۸۰ سانتی‌متر انتخاب

شده (۵) و با توجه به عملیات میدانی و اطلاعات دریافتی، از هر گونه در هر کلاسه بطور تصادفی به تعداد ۷-۵-۳ پایه قطع شده در نظر گرفته شد (۲۰، ۳۰ و ۳۲). در عملیات میدانی حین استحصال از انتهای هر قسمت از گرده بینه حاصل شده پس از اندازه‌گیری، طول تنه به ازای ۵-۲ متر (۸، ۲۰ و ۳۲) یک دیسک کامل تقریباً به ضخامت ۲ سانتی‌متر برداشت شد (۲۸ و ۳۲). ارتفاع تنه درختان از انتهای کنده (محل قطع) تا جایی که تاج از آن شروع می‌شود اندازه‌گیری شد. ارتفاع (طول) سرشاخه اصلی جزء ارتفاع تجاری قرار نگرفت. کمیت اندازه‌گیری شده مذکور بعنوان ارتفاع تجاری محسوب می‌شود (۲۹). از دو طرف مخالف دیسک در یک راستا در سمت برون چوب برای تعیین چگالی خشک (چگالی ویژه (Specific wood density / or Dry wood density)) قطعاتی با ابعاد مساوی تکه برداری شدند (۲۹). کلیه نمونه‌های چوبی در آون بمدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۸، ۲۰، ۲۹ و ۳۲). زی‌توده تنه از مجموع وزن هر بخش از تنه با توجه به ضریب نسبت وزن خشک به وزن تر دیسک هر بخش بدست آمد (۳۲). برای اندازه‌گیری مقدار ضریب کربن محاسباتی، پس از نمونه‌برداری با جرم ثابت از کلیه قطعات چوبی مدنظر، کلیه نمونه‌ها در کوره حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: چگالی ویژه از نسبت جرم خشک به حجم تر هر یک از نمونه‌های چوبی برداشت شده (۲) سانتی‌متر × ۲ سانتی‌متر × ۲ سانتی‌متر) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (۷). برای محاسبه مقدار ضریب کربن محاسباتی از رابطه زیر استفاده شد (۹):

(۱)

$$Ash = \left(\frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \Rightarrow C\% = (100 - Ash\%) \times 0.58$$

در روابط فوق، Ash % : درصد خاکستر حاصل پس از

برای محاسبه میانگین انحراف معیار از رابطه زیر استفاده شد:

$$S(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_{pi} - y_i|}{y_i} \quad (2)$$

در رابطه فوق، n : تعداد مشاهدات یا برآورد، y_{pi} : زی توده برآوردی و y_i : زی توده مشاهدات می باشد.

برای محاسبه ضریب اطلاعات آکاییک (AIC) در صورتیکه نسبت مشاهدات کل به تعداد پارامترهای محاسباتی بیشتر از ۴۰ باشد ($n/k > 40$) از رابطه ۴ و در صورتیکه نسبت مذکور کمتر از ۴۰ باشد ($n/k < 40$) از رابطه ۵ استفاده می‌شود (۶):

$$AIC = n \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2k \quad (3)$$

$$AIC = n \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2k + \left[2k \left(\frac{k+1}{n-k-1} \right) \right] \quad (4)$$

در رابطه فوق، n : تعداد مشاهدات، RSS : مجموع مربعات باقی‌مانده ها و k : تعداد پارامترهای مدل محاسباتی می باشد.

نتایج

چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی تنه تجاری جنگل آمیخته راش: نتایج تجزیه واریانس حاصل از تغییرات چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی (C%) تنه بین درختان گونه‌های مختلف در جنگل مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی

| منبع تغییرات | میانگین مربعات | F | سطح معنی‌داری |
|--------------|----------------|---------|---------------------|
| چگالی ویژه | ۰/۰۳۴ | ۱۱۵۳/۱۱ | ۰/۰۰۰ |
| ضریب کربن | ۰/۰۳۸ | ۲/۰۱ | ۰/۰۸۳ ^{ns} |

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود بین چگالی ویژه تنه درختان گونه‌های جنگل مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار

سوزاندن کامل لایه چوبی، W_1 : وزن ظرف (بوته‌چینی)، W_2 : وزن خشک نمونه، W_3 : مجموع وزن خاکستر و بوته-چینی مورد استفاده، C%: ضریب کربن محاسباتی می‌باشد. برای بررسی معنی‌داری چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی بین گونه‌های مختلف درختان گونه مورد مطالعه از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه استفاده شد. برای مقایسه چندگانه میانگین حاصل از آزمون مذکور نیز از آزمون توکی استفاده شد.

برای فرآیند مدل‌سازی در تحقیق حاضر از سه متغیر قطر برابر سینه D ، ارتفاع تنه H و چگالی ویژه WD استفاده شد. در این خصوص از روش حداقل مربعات استفاده شده و متغیرهای مستقل نامبرده شده بصورت گام به گام با ترکیب متفاوت در معادلات وارد شدند (۷). کلیه مدل‌های پایه برای برازش مورد آزمون قرار گرفتند. طی فرآیند تجزیه و تحلیل، مدل توانی پایه ($Y = a \times x^b$) با حداقل میانگین مربعات باقی‌مانده (RMS)، حداقل خطای تخمین (SEE) و حداکثر ضریب تبیین تعدیل یافته (R^2_{adj}) بعنوان مدل آلومتریک پایه در این تحقیق محسوب می‌شود. از این‌رو برای عدم ناهمگنی پراکنش و ورود متغیرهای مستقل بصورت گام به گام با ترکیب مختلف، مدل توانی مذکور بصورت لگاریتمی خطی تغییر شکل یافت ($\ln Y = \ln a + b \times \ln X$) که با استفاده از ضریب تصحیح (CF) در بازتبدیل معادله نمایی ($Y = a \times e^{b \times X}$) مقادیر ترسیب کربن نزدیک به واقعیات بر حسب کیلوگرم یا تن مورد برآورد قرار می‌گیرند (۷ و ۱۷). در رگرسیون خطی چندگانه (Multiple linear regression) از آزمون هم خطی استفاده شد و برای تایید اعتبار محاسباتی مقدار عددی فاکتور توورم واریانس (VIF) بعنوان شاخص اصلی مدنظر قرار گرفت (۲). علاوه بر شاخص‌های رایج مزبور در مطالب فوق‌الذکر، از میانگین انحراف معیار و ضریب اطلاعات آکاییک نیز برای قطعیت در انتخاب مدل بهینه با بیشترین دقت پاسخگویی استفاده شد (۱۱ و ۱۷).

برابرسینه، ارتفاع تنه و چگالی ویژه ($CF = 1/0.2$) دارای بیشترین دقت محاسباتی تا این مرحله از مدل‌سازی هستند.

جدول ۲- میانگین (\pm اشتباه معیار)، کمینه و بیشینه چگالی ویژه

| چگالی ویژه گونه‌های درختان | کمینه | بیشینه | میانگین |
|-------------------------------|-------|--------|--------------------|
| راش | ۰/۶۰ | ۰/۶۲ | 0.60 ± 0.002 d |
| بلوط | ۰/۷۹ | ۰/۸۴ | 0.81 ± 0.008 a |
| ممرز | ۰/۶۱ | ۰/۶۴ | 0.63 ± 0.004 c |
| پلت | ۰/۴۸ | ۰/۴۹ | 0.49 ± 0.001 f |
| شیردار | ۰/۵۶ | ۰/۵۶ | 0.56 ± 0.001 e |
| زبان گنجشک | ۰/۶۰ | ۰/۶۱ | 0.61 ± 0.002 d |
| آزاد | ۰/۷۳ | ۰/۷۴ | 0.74 ± 0.001 b |
| خرمندی | ۰/۵۶ | ۰/۵۸ | 0.57 ± 0.003 e |
| نمدار | ۰/۴۷ | ۰/۴۸ | 0.48 ± 0.006 f |
| توسکای بیلاقی | ۰/۴۴ | ۰/۴۶ | 0.45 ± 0.002 g |

جدول ۳- میانگین (\pm اشتباه معیار)، کمینه و بیشینه ضریب کربن

| ضریب کربن % گونه‌های درختان | کمینه | بیشینه | میانگین |
|--------------------------------|-------|--------|--------------------|
| راش | ۵۶/۸۴ | ۵۷/۱۱ | 56.95 ± 0.1 a |
| بلوط | ۵۷/۲۱ | ۵۷/۷۲ | 57.27 ± 0.2 a |
| ممرز | ۵۶/۹۷ | ۵۷/۷۷ | 57.11 ± 0.10 a |
| پلت | ۵۷/۲۱ | ۵۷/۲۸ | 57.24 ± 0.44 a |
| شیردار | ۵۶/۹۸ | ۵۷/۱۲ | 57.03 ± 0.16 a |
| زبان گنجشک | ۵۷/۱۵ | ۵۷/۱۹ | 57.17 ± 0.11 a |
| آزاد | ۵۶/۹۹ | ۵۷/۵۴ | 57.11 ± 0.20 a |
| خرمندی | ۵۷/۰۹ | ۵۷/۲۸ | 57.19 ± 0.14 a |
| نمدار | ۵۷/۱۴ | ۵۷/۱۸ | 57.4 ± 0.16 a |
| توسکای بیلاقی | ۵۷/۲۱ | ۵۷/۲۲ | 57.21 ± 0.22 a |

البته با توجه به مقادیر عددی کلیه شاخص‌های اعتبار سنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که مدل ۵ مبنی بر لگاریتم حاصلضرب مربع قطر برابر سینه در ارتفاع تنه نیز دارای دقت برآوردی قابل قبول می‌باشند که البته از لحاظ الویت محاسباتی پس از احتساب مدل ۸ دارای اعتبار می‌باشد (جدول ۴).

وجود دارد ($P < 0.01$) در صورتیکه تغییرات ضریب کربن تنه درختان گونه‌های مختلف معنی‌دار نبود ($P > 0.05$).

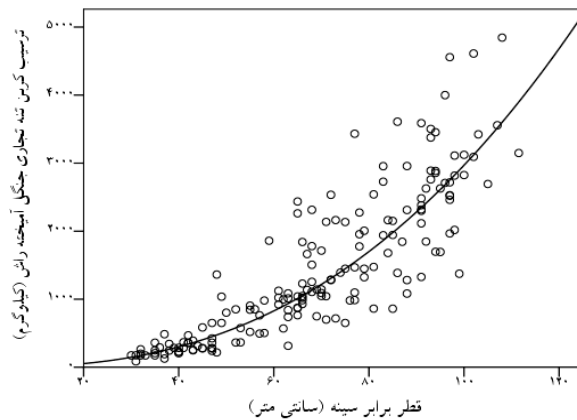
نتایج آزمون توکی نشان می‌دهد که در میان درختان گونه‌های مختلف مورد مطالعه در جنگل آمیخته راش گلندرود، تنه درختان بلوط دارای حداکثر چگالی ویژه و تنه درختان توسکای بیلاقی دارای حداقل ارزش معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). همچنین مطابق جدول ۳ بطور میانگین ضریب کربن محاسباتی در جنگل آمیخته راش گلندرود تقریباً ۵۷ درصد معرفی شد که در میان گونه‌های مختلف دارای تغییرات معنی‌داری نبود.

فرآیند مدل‌سازی آلومتریک ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش: نتایج حاصل از ارائه مدل‌های تک متغیره توانی و نمایی حاوی متغیر قطر برابر سینه و یا ارتفاع تنه جنگل مورد مطالعه در جدول ۴ نمایش داده شده است. از آرایه مدل‌های مبنی بر چگالی ویژه بدلیل عدم دقت قابل ملاحظه و برازش نامناسب صرفنظر شد. بر اساس شاخص‌های اعتبارسنجی ارائه شده در جدول ۴، مدل‌های توانی دارای دقت پاسخگویی بیشتری نسبت به مدل‌های نمایی بودند. با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی در جدول ۴ مشاهده می‌شود که مدل توانی حاوی قطر برابرسینه دارای حداکثر دقت برآورد نسبت به دیگر مدل‌های ارائه شده می‌باشند. از این رو می‌توان گفت که مدل ۱ بر اساس اولویت دارای بهترین برازش در بین ۴ مدل ارائه شده دیگر در جدول ۴ می‌باشد (شکل ۱).

برازش غیرخطی بین قطر برابرسینه و ترسیب کربن تنه در مدل پایه آلومتریک (مدل توانی) در شکل ۱ نشان داده شده است.

در ادامه فرآیند مدل‌سازی با استفاده از متغیرهای ترکیبی نتایج مطابق جدول ۵ نشان می‌دهد که مدل نمایی بازتبدیلی بر حسب لگاریتم ترکیب مربع قطر برابر

بطور کلی نتایج مربوط به جدول‌های ۴ و ۵ نشان دادند که مدل‌های حاوی ارتفاع تنه تجاری و چگالی ویژه تنه بدون احتساب قطر برابر سینه دارای دقت قابل توجهی نیستند.



شکل ۱- برازش غیرخطی بهینه بین قطر برابر سینه و ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش در منطقه

شکل ۲ برازش خطی لگاریتم طبیعی بین حاصلضرب مربع قطر برابر سینه در ارتفاع تنه در چگالی ویژه و لگاریتم طبیعی ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۶ کلیه مدل‌های خطی چندگانه حاوی چند متغیر مستقل را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج تحلیل پارامترهای مدل‌های تک متغیره توانی و نمایی

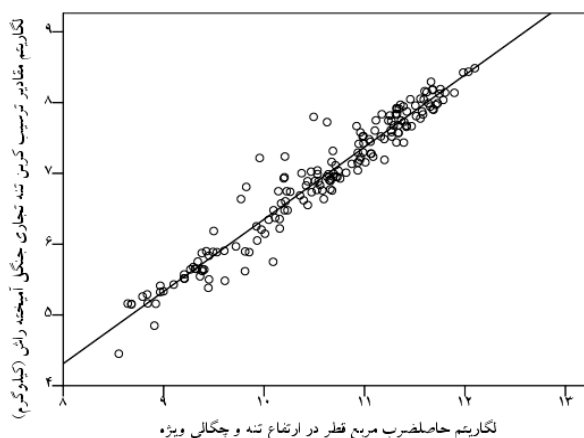
| شماره مدل | مدل‌های آلومتری | a | b | Adj.R ² | RMS | SEE | AIC | S % |
|-----------|---------------------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|---------|-------|
| ۱ | $Y = a \times (D)^b$ | ۰/۰۳۰ | ۲/۵ | ۰/۸۴۱ | ۰/۱۳۷ | ۰/۳۷۱ | -۳۴۴/۰۶ | ۲۹/۸۳ |
| ۲ | $Y = a \times (H)^b$ | ۲/۰۶ | ۲/۲۵ | ۰/۴۶۵ | ۰/۴۵۸ | ۰/۶۷۷ | -۱۳۳/۷۶ | ۶۶/۲۹ |
| ۳ | $Y = a \times \text{Exp}(b \times D)$ | ۶۸/۲۱ | ۰/۰۴ | ۰/۸۱۴ | ۰/۱۶۰ | ۰/۴۰ | -۳۱۷/۹ | ۳۴/۱۱ |
| ۴ | $Y = a \times \text{Exp}(b \times H)$ | ۹۴/۵۵ | ۰/۱۴۶ | ۰/۴۵۴ | ۰/۴۶۸ | ۰/۶۸۴ | -۱۳۰/۱۶ | ۶۷/۷۰ |

a, b: ضرایب پارامتری مدل، D: قطر برابر سینه بر حسب سانتی‌متر، H: ارتفاع تنه بر حسب متر، Y: ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم، Adj.R²: ضریب تبیین تعدیل یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین، AIC: ضریب اطلاعات آکاییک، S: میانگین انحراف معیار

جدول ۵- نتایج تحلیلی پارامترهای مدل‌های تک متغیره شامل متغیرهای ترکیبی

| شماره مدل | مدل‌های آلومتری | a | b | Adj.R ² | RMS | SEE | CF | AIC | S % |
|-----------|-----------------------------------------------------|-------|------|--------------------|-------|-------|------|---------|-------|
| ۵ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D^2 \times H)]$ | -۴/۳۷ | ۱/۰۲ | ۰/۸۹۶ | ۰/۰۸۹ | ۰/۲۹۹ | ۱/۰۴ | -۴۱۸/۰۶ | ۲۶/۱۶ |
| ۶ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D^2 \times WD)]$ | -۲/۷۵ | ۱/۲۴ | ۰/۸۸۴ | ۰/۰۹۹ | ۰/۳۱۵ | ۱/۰۵ | -۴۰۰/۵۸ | ۲۷/۵۵ |
| ۷ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(H \times WD)]$ | ۲/۶۴ | ۱/۹۴ | ۰/۴۷۸ | ۰/۴۴۷ | ۰/۶۶۸ | ۱/۲۵ | -۱۳۸/۲۳ | ۸۲/۵۵ |
| ۸ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D^2 \times H \times WD)]$ | -۳/۸۵ | ۱/۰۲ | ۰/۹۴ | ۰/۰۵۲ | ۰/۲۲۸ | ۱/۰۲ | -۵۱۳/۳۱ | ۱۶/۶۷ |

a, b: ضرایب پارامتری مدل، D: قطر برابر سینه بر حسب سانتی‌متر، H: ارتفاع تنه بر حسب متر، WD: چگالی ویژه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Y: ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم، Adj.R²: ضریب تبیین تعدیل یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین، CF: فاکتور تصحیح، AIC: ضریب اطلاعات آکاییک، S: میانگین انحراف معیار



شکل ۲- برازش خطی بهینه بین ترکیب مربع قطر برابر سینه در ارتفاع تنه در چگالی ویژه و ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش

نتایج حاصل از آزمون هم‌خطی در مدل‌سازی نشان داد که کلیه مدل‌های ارائه شده دارای اعتبار محاسباتی (< 10) (VIF) می‌باشند (جدول ۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود رگرسیون خطی چندگانه حاوی متغیر مستقل قطر، ارتفاع و چگالی ویژه دارای دقت غیرقابل قبول می‌باشد در صورتیکه مدل‌های بازتبدیل شماره ۱۱ و ۱۲ حاوی رگرسیون لگاریتمی خطی چندگانه دارای حداکثر دقت

برآورد ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. باید در نظر داشت که بر اساس اولویت، مدل‌های بازتبدیلی شماره ۱۲ حاوی لگاریتم متغیر ترکیبی مربع قطر و ارتفاع و متغیر چگالی ویژه با تعداد پارامترهای کمتر در اولویت محاسباتی قرار دارد هرچند که اختلاف بسیار جزئی بین مدل ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج تحلیلی پارامترهای مدل‌های تجربی

| شماره مدل | مدل‌های آومتری | a | b | c | k | Adj.R ² | RMS | SEE | CF | VIF _{max} | AIC | S % |
|-----------|-------------------------------------------------------|----------|-------|-------|--------|--------------------|----------|--------|------|--------------------|---------|-------|
| ۹ | $Y = a + b(D) + c(H) + k(WD)$ | -۳۷۶۴/۰۷ | ۳۶/۰۷ | ۶۹/۲۳ | ۲۷۱۶/۲ | ۰/۸۵۱ | ۱۷۳۵۰۵/۹ | ۴۱۶/۵۴ | - | ۱/۳۴ | +۲۰۹۹/۱ | ۴۹/۷۷ |
| ۱۰ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D) + c \ln(H)]$ | -۴/۳۶ | ۲/۱۱ | ۰/۹۱۶ | - | ۰/۸۹۶ | ۰/۰۸۹ | ۰/۲۹۸ | ۱/۰۴ | ۱/۳۸ | -۴۱۹/۳۲ | ۲۷/۰۵ |
| ۱۱ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D) + c \ln(H) + k \ln(WD)]$ | -۳/۷۴ | ۲/۰۹ | ۰/۹۱۶ | ۱/۱۱ | ۰/۹۴ | ۰/۰۵۱ | ۰/۲۲۶ | ۱/۰۲ | ۱/۳۸ | -۵۱۶/۲۲ | ۱۶/۰۸ |
| ۱۲ | $Y = \text{Exp}[a + b \ln(D^2 \times H) + c \ln(WD)]$ | -۳/۷۵ | ۱/۰۱ | ۱/۱۱ | - | ۰/۹۴ | ۰/۰۵۱ | ۰/۲۲۶ | ۱/۰۲ | ۱/۱۱ | -۵۱۶/۱۸ | ۱۵/۳۴ |

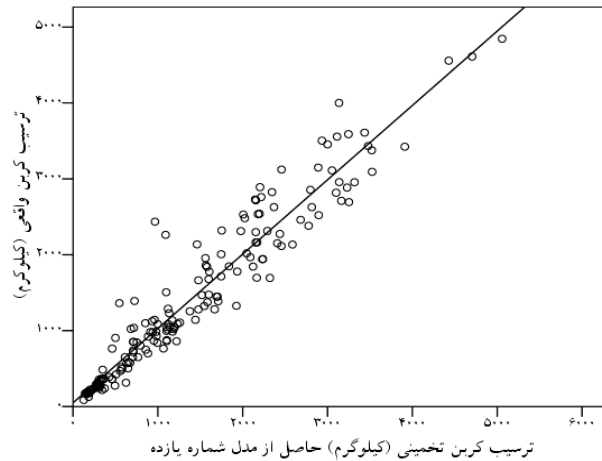
a, b و c: ضرایب پارامتری مدل، D: قطر بارسینه بر حسب سانتی‌متر، H: ارتفاع تنه بر حسب متر، WD: چگالی ویژه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Y: ترسیب کربن بر حسب کیلوگرم، Adj.R²: ضریب تبیین تعدیل یافته، RMS: میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها، SEE: اشتباه معیار تخمین، CF: فاکتور تصحیح، VIF: فاکتور تورم واریانس، AIC: ضریب اطلاعات آکاییک، S: میانگین انحراف معیار

بحث و نتیجه‌گیری

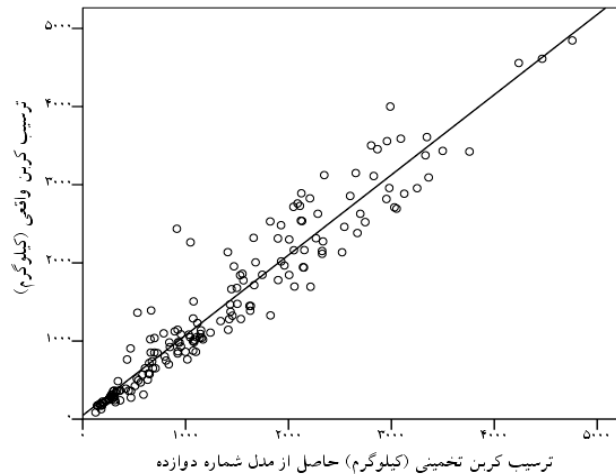
نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی ویژه و ضریب کربن محاسباتی در رابطه با مقادیر وزنی ترسیب کربن در جنگل مورد مطالعه نشان داد که در واقع چگالی ویژه و تبع آن مقادیر زی‌توده (وزن خشک) مهمترین عامل تمایز بین

شکل ۳ و ۴ برای نمایش صحت و اعتبار محاسباتی، برترتیب برازش تخمین ترسیب کربن تنه با استفاده از مدل‌های ۱۱ و ۱۲ را با ترسیب کربن واقعی نشان می‌دهد. در حقیقت، اشکال زیر رابطه خطی بین برآوردهای حاصل از مدل‌های مذکور و مشاهدات حاصل از اندازه‌گیری را نشان می‌دهند.

میزان ذخایر کربن آلی درختان گونه‌های مختلف در یک دامنه قطری و ارتفاعی معین می‌باشد.



شکل ۳- رگرسیون خطی بین ترسیب کربن تخمینی حاصل از مدل شماره یازده و مشاهدات ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش



شکل ۴- رگرسیون خطی بین ترسیب کربن تخمینی حاصل از مدل شماره دوازده و مشاهدات ترسیب کربن تنه تجاری جنگل آمیخته راش

حجمی و جرمی ثابت تنه درختان در جنگل مورد مطالعه مقدار ثابتی کربن وجود دارد. Jacquemont و Caparros (۲۰۰۳) در تحقیقات خود گزارش دادند که درختان در اوایل دوران رشد دارای نرخ جذب کربن بیشتری هستند ولی در اواخر مراحل رویشی رشد که در واقع بنوعی زمان بهره‌برداری است، نرخ آن بسته به نوع جنس و گونه‌های درختان کاهش پیدا می‌کند. البته این بدین معنی است که مقدار موجودی ذخایر کربن در اواخر روند رویشی، شاید دیگر افزایش پیدا نکند ولی به هیچ وجه از میزان آن کاسته نمی‌شود (۱۵). با توجه به این تفاسیر می‌توان ادعان داشت

این موضوع از آنجا نشأت می‌گیرد که اختلاف معنی‌داری بین چگالی خشک تنه پایه‌های گونه‌های مختلف درختان در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. اما ضریب کربن محاسباتی بین کلیه پایه‌های درختان از گونه‌های مختلف دارای تغییرات معنی‌داری نبود. این مهم نشان می‌دهد که در یک جنگل آمیخته راش در مرحله بلوغ (مرحله گذار در مراحل توالی با توجه به دامنه قطری و ارتفاعی مشهود در تحقیق حاضر) کلیه درختان اشکوب‌های مختلف به لحاظ جذب و میزان انباشت کربن اتمسفری در مرحله تعادلی کلیماکس قرار دارند. این بدین معنی است که در یک واحد

مدل‌سازی، خطای محاسباتی بسیار زیادی وجود دارد که در صورت محاسبه مقادیر ترسیب کربن در واحد سطح از یک توده یا جنگل ممکن است تا چندین تن اختلاف برآورد وجود داشته باشد (۲۲). از این‌رو، مدل‌سازی آلومتریک منوط به اندازه‌گیری حاصل از روش تخریب می‌تواند بعنوان بهترین روش برآورد واقعی ترسیب کربن با حداقل خطا محسوب شود (۷). یکی از مهمترین مزایای تبیین معادلات آلومتریک استفاده آن برای کل جنگل بخصوص برای جنگل‌های آمیخته در یک رویشگاه می‌باشد. البته در صورت همسانی شرایط رویشگاه و تشابه در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها معادلات مذکور قابل استفاده برای جنگل‌ها یا رویشگاه‌های مجاور (حتی در سطح منطقه‌ای و یا جهانی) نیز می‌باشند (۱۶). در مدل‌سازی حاصل از تحقیق حاضر مطابق با سایر نتایج مطالعات مختلف مدل‌سازی در جنگل‌های بیوم‌های مختلف (۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۲، ۲۵ و ۲۹)، قطر برابر سینه بعنوان مهمترین عامل برای برآورد متغیر پاسخ (ترسیب کربن تنه) معرفی شد. البته تمام مطالعات مذکور اذعان داشتند که قطر برابر سینه دارای بیشترین همبستگی با میزان زی توده (و ترسیب کربن) درختان جنگل می‌باشد. در این تحقیق کلیه مدل‌های ارائه شده بنوعی برای کل رویشگاه جنگل آمیخته راش در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود که در مستندات علمی بین‌المللی از آن بعنوان *Site-specific allometric equation* یاد می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه مطالعات مذکور نسبت به معادلات آلومتریک مربوط به یک گونه (Species-specific allometric equations) دارای دقت برآوردی کمتر می‌باشد (۷ و ۲۲) از این‌رو در فرآیند مدل‌سازی و ارائه ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان علاوه بر قطر برابر سینه از ارتفاع تنه و چگالی ویژه نیز برای افزایش دقت مدل‌های تحت آزمون استفاده شد. در این میان ابتدا از مدل توانی و مدل نمایی بعنوان مدل پایه آلومتریک برای نمایش برازش غیر خطی ترسیب کربن تنه درختان جنگل مورد مطالعه استفاده شد. در این خصوص می‌توان به

که "نرخ" جذب کربن اتمسفری در اوایل دوران رویش در گیاهان زیادتر می‌باشد و لذا مقایسه ضریب کربن در واحد حجمی و جرمی ثابت در دوران ابتدایی رویش بین گونه‌های مختلف این موضوع را بهتر روش می‌سازد. از طرفی، با توجه به معنی‌داری تغییرات چگالی خشک تنه گونه‌های مختلف درختان می‌توان استنباط کرد که میزان رطوبت موجود در تنه درختان گونه‌های مختلف نیز متفاوت می‌باشد. از این‌رو با توجه به شرایط رویشگاهی جنگل مورد مطالعه میزان رطوبت نیز می‌تواند عامل تاثیرگذار در میزان ترسیب کربن تنه درختان محسوب شود. در ارتباط با تمام موارد عنوان شده یکی از مهمترین عامل‌هایی که معرف میزان ذخایر کل کربن بین پایه‌ها و گونه‌های مختلف درختان می‌باشد، ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان (قطر، ارتفاع، چگالی، زی توده) می‌باشد (۷، ۱۰ و ۱۷). از این‌رو در کلیه مدل‌سازی آلومتریک برای برآورد زی توده و ترسیب کربن اندام‌های مختلف روی‌زمینی درختان از کمیت‌های قطربرابرسینه، ارتفاع و چگالی ویژه استفاده می‌شود (۱۰، ۱۶، ۱۷ و ۲۱).

در بسیاری از مطالعات بدلیل عدم ایجاد شرایط اندازه‌گیری با روش تخریبی، معمولاً برآورد زی توده و ترسیب کربن با استفاده از حاصلضرب حجم، چگالی خشک و ضریب کربن بدست می‌آید که در شرایط تخمین کلی، چگالی درختان میانگین در جنگل و ضریب کربن ۵۰ درصد برای محاسبه تخمینی ترسیب کربن اندام مربوطه درختان استفاده می‌شود (۲۳، ۲۸ و ۳۲). یا اینکه برای افزایش دقت برآورد؛ چگالی خشک و ضریب کربن درختان جنگل بطور مستقیم اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود و در نهایت ترسیب کربن روی زمینی درختان برآورد می‌شود. ولی حقیقت این است که توزیع زی توده در قسمت‌های مختلف درختان - بخصوص در راستای عرضی و عمودی تنه درختان بسیار نامتقارن و غیر یکنواخت می‌باشد. از این‌رو برآورد حجم نمی‌تواند بیانگر وزن خشک باشد (۸، ۱۹، ۲۵ و ۲۷). از این‌رو بین برآورد حاصل از رابطه فوق و اندازه‌گیری یا

میانگین انحراف معیار در بخش نتایج؛ بسته به هدف استفاده ابزاری از این مدل‌ها، ترجیحا مدل‌های بهینه که دارای تعداد پارامترهای کمتری هستند (مدل ۸) استفاده می‌شوند.

با استفاده از مدل‌های بهینه معرفی شده در تحقیق حاضر، در واقع می‌توان ارزش ذخایر کربن آلی را در تنه درختان بصورت عددی و در نهایت در تبدیل ارزش ریالی، بطور واضح نشان داد. در حقیقت، این موضوع برای جنگلبانان مشخص خواهد شد که در صورت حفظ درختان جنگلی (چوب‌های تجاری) و عدم بهره‌برداری، میزان ارزش پولی باقی‌مانده مربوط به ذخایر کربن موجود در تنه درختان با توجه به نرخ قیمت آنها در بانک‌های جهانی تا چه حدودی قابلیت جبران برای عدم کسب درآمد مالی حاصل از فروش چوب را بدنبال دارد. از این‌رو با ارائه مدل‌های بهینه آلومتریک در سطح وسیعی از جنگل‌های مذکور، مقادیر ترسیب کربن محاسبه شده و نتایج حاصل را می‌توان برای رفع ابهامات موجود در خصوص حفظ یا خروج چوب‌های صنعتی استفاده کرد. اگر چه خیلی روشن است که دیگر خدمات اکولوژیکی جنگل‌های مذکور همچون حفظ پایداری خاک و جلوگیری از فرسایش آن، جلوگیری از سیلاب، حفظ منابع آب، تعدیل گردش جریانات جوی در سطوح میکروکلیم یا ماکروکلیم نیز بنوعی دارای ارزش-های بی‌بدیل هستند که در مجموع قابل قیاس با عرضه تجاری چوب‌های صنعتی نیستند.

پژوهش سهرابی و شیروانی (۱۳۹۱) پارساپور و همکاران (۱۳۹۲) بترتیب در رابطه با برآورد زی‌توده تنه درختان بنه و انواع گونه‌های صنوبر نام برد که از مدل توانی و نمایی با استفاده از متغیرهای قطر و ارتفاع استفاده کردند که در تمام موارد مدل‌های توانی دقت بیشتری از برآورد را نشان دادند. در تحقیق حاضر نیز کلیه مدل توانی بر حسب قطر برابر سینه و ارتفاع تنه دارای دقت بیشتری از مدل‌های نمایی بودند. در ادامه مدل‌سازی با تبدیل مدل توانی به مدل لگاریتم خطی بر حسب متغیر ترکیبی لگاریتم مربع قطر برابر سینه و ارتفاع تنه دقت مدل افزایش یافت و به همین نحو با اضافه کردن چگالی خشک به ترکیب مذکور روند افزایشی دقت محاسباتی بترتیب تقریباً از $0/14 = \text{RMS}$ و $0/37 = \text{SEE}$ به $0/05$ و $0/23$ کاهش یافت. لذا با توجه به دیگر شاخص‌های اعتبارسنجی از جمله ضریب تصحیح، ضریب اطلاعات آکاییک و میانگین انحراف معیار واضح است که کمیت‌های ارتفاع و چگالی در ترکیب با قطر برابر سینه نیز عامل تاثیرگذار در بهبود روند دقت محاسباتی مدل‌های آلومتریک محسوب می‌شود. در این مورد از کلیه مدل‌های تجربی با ترکیب و عامل‌های توصیفی مختلف در مدل خطی چندگانه برای رسیدن به حداکثر دقت محاسباتی ترسیب کربن تنه تجاری درختان استفاده شد (۷، ۱۷ و ۲۹). در این خصوص اگر چه دقت برآورد ترسیب کربن تنه تجاری جنگل مورد مطالعه افزایش پیدا کرد ولی روند آن بسیار کند و ناچیز بود. لذا بر اساس مقادیر ضریب اطلاعات آکاییک بدست آمده و

منابع

- ۱- بی نام، ۱۳۸۷. طرح جنگلداری سری سه گلندرود (تجدید نظر دوم)، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران - نوشهر.
- ۲- بی‌همتا، م.ر. و زارع چاهوکی، م.ع.، ۱۳۹۰. اصول آمار در علوم منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.
- ۳- پارساپور، م.ک.، سهرابی، ه.، سلطانی، ع. و ایرانمنش، ی.، ۱۳۹۲. روابط آلومتریک به‌منظور برآورد زی‌توده چهار گونه صنوبر در استان چهارمحال و بختیاری. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۳: ۵۲۸-۵۱۷.
- ۴- سهرابی، ه. و شیروانی، ا.، ۱۳۹۱. معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده روی زمین بنه (*Pistacia atlantica var. mutica*) در پارک ملی خجیر. مجله جنگل ایران، ۴ (۱): ۶۴-۵۵.
- ۵- میرعبداللهی شمسی، م.، امیراسلام، ب.، ترکمن، ج. و بخشنده ناورد، ب.، ۱۳۹۰. بررسی ضریب شکل درخت راش (*Fagus*

- ۷- واحدی، ع.ا.، ۱۳۹۳. تبیین مدل‌های محاسباتی و بهینه‌زی‌توده تنه ممرز (*Carpinus betulus* L) با استفاده از معادلات آلومتریکی در جنگل‌های هیرکانی. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۴: ۲۳۶-۲۲۵.
- 8- Aboal, R.J., Arevalo, R.J. and Fernandez, A., 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). *Flora*, 200: 264-274.
- 9- Allen, S.E., Grimshaw, H.M. and Rowland, A.P., 1986. Chemical Analysis. In: P.D. Moore and Chapman (eds.), *Method in Plant Ecology*. America: Blackwell scientific, 1986: 285-344.
- 10- Alvarez, E., Duque, A. Saldarriaga, J., Cabrera, K., Salas, G.D.L., Valle, L.D., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S and Rodriguez, L., 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267: 297-308.
- 11- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K. and Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *For. Ecol. Manage*, 257: 1684-1694.
- 12- Beets, P.N., Kimberley, M.O., Oliver, G.R., Pearce, S.H., Graham, J.D. and Brandon, A. 2012. Allometric Equations for Estimating Carbon Stocks in Natural Forest in New Zealand. *Forests*, 3: 818-839.
- 13- Brown, S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Pollut*, 116: 363-372.
- 14- Burnham, K.P. and Anderson, D.R., 2002. *Model selection and inference: a practical information-theoretic approach*, second edition. Springer-Verlag, New York.
- 15- Caparros, A. and Jacquemont F., 2003. Conflicts between biodiversity and carbon sequestration programs: economic and legal implications. *Ecological Economics*, 46: 143-157.
- 16- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B. and Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 : 87-99.
- 17- Djomo, A.N., Adamou, I., Joachim, S. and Gode, G., 2010. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management*, 260 : 1873-1885.
- 18- Ekoungoulou, R., Liu, X., Joël Loumeto, J., Averti Ifo, S., Enock Bocko, Y., Koula, F.E. and Niu, S., 2014. Tree Allometry in Tropical Forest of Congo for Carbon Stocks Estimation in Above-Ground Biomass. *Open Journal of Forestry*, 4: 481-491.
- 19- Fehrmann, L. and Kleinn, C., 2006. General considerations about the use of allometric equations for biomass estimation on the example of Norway spruce in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 236: 412-421.
- 20- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M. and Saint-André, L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260 (2010) 1375-1388.
- 21- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C. and Schulte, A., 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L) in western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189: 87-96.
- 22- Ketterings, Q.M., Coe, R., Noordwijk, M.V., Ambagau, Y. and Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146 : 199-209.
- 23- Komiyama, A., Eong Ong, J. and Pongparn, S., 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89: 128-137.
- 24- Li, X.Y. and Tang, H P., 2006. Carbon sequestration: manners suitable for carbon trade in China and function of terrestrial vegetation. *Journal of Plant Ecology*, 32: 200-209.
- 25- Navar, J., 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257 : 427-434.

- 26- Nijnik, M., Pajot, G., Moffat, A.J. and Slee, B., 2013. An economic analysis of the establishment of forest plantations in the United Kingdom to mitigate climatic change. *Forest Policy and Economics*, 26:34–42.
- 27- Pajtik, J., Konopka, B. and Lukac, M., 2008. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, 256:1096–1103.
- 28- Peichl, M. and Arain, M.A., 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140: 51–63.
- 29- Ribeiro, S., Fehrmann, L., Pedro Boechat Soares, C., Antônio Gonçalves Jacovine, L., Kleinn, C. and de Oliveira Gaspar, R., 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 262: 491–499.
- 30- Singh, V., Tewari, A., Kushwaha, S.P.S. and Dadhwal, V.K., 2011. Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. *Forest Ecology and Management*, 261:1945–1949.
- 31- Vann, D.R., Palmiotto, P.A. and Richard, S., 1998. Allometric equations for two South American conifers: Test of a non-destructive method. *Forest Ecology and Management*, 106: 55–71.
- 32- Zhu, B., Wang, X., Fang, W., Piao, S., Shen, H., Zhao, S. and Peng, C., 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Carbon cycle process in East Asia*, 123:439–452.

Measuring and allometry modeling tree commercial bole carbon sequestration in the Hyrcanian mixed-oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests

Vahedi A.A.

Forests and Rangelands Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. of Iran

Abstract

According to the climate change scenario and global warming in the current century, this study aimed to develop allometric models in the Hyrcanian mixed-beech forests for estimating the organic carbon stock associated with trees biomass in the large scale of stands. Therefore, 174 individuals of trees from different species based on stratified random sampling in the third district of the Glandroud forests were felled and 2-cm thick disk were sampled from the each felled tree. The constant volume of woods was sampled from the opposite sides of the each disk. The samples were oven dried in lab for 24 hours (105°C) in order to determine specific wood density (WD) and carbon factor (C). The findings indicated that WD of various species' bole trees was significantly different; however, the variation of C had no significant difference. Based on modeling development, the power function including DBH estimated carbon sequestration of bole trees in the forest, and explained adjusted R^2 of 84 %. Furthermore, the results showed that the log-transformed model based on the power-law function, which is considered the multiple linear regression including product of breast height diameter and height and basic wood density, is considered the best allometric model (Adj. R = 0.94, SEE = 0.22, CF = 1.02, AIC = -516) for predicting the bole carbon stock in the broad field scale of the mentioned forest.

Key words: Carbon sequestration, Allometric equations, Bio-physic variables, Mixed-beech forests